

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 60-173508

(43)Date of publication of application : 06.09.1985

(51)Int.Cl.

G02B 6/26

(21)Application number : 59-011815

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 27.01.1984

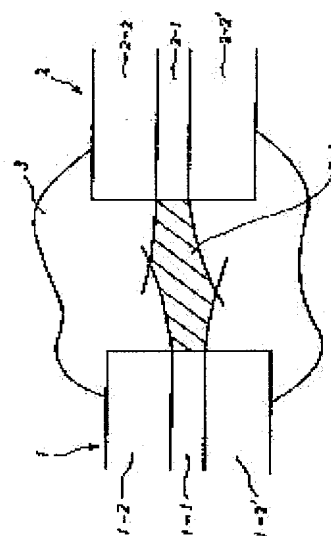
(72)Inventor : TATSUTA MITSUHIRO

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE CONNECTING METHOD

## (57)Abstract:

PURPOSE: To execute easily a low loss connection between each optical element, and also to execute it at a low cost by opposing two waveguides to be connected by placing a phase variation type photoconductive medium between them, and making a light pass through into it from cores of both the waveguides.

CONSTITUTION: A waveguide 1 and 2 to be connected to each other are opposed so that the center axes (optical axes) of its core part 1-1 and 2-1 coincide roughly by an axial shift quantity of about several  $\mu\text{m}$ . In case that the two waveguides to be connected are both an optical fiber, a V-groove connector made of a reinforced plastic can be used. In case that one or both of the two waveguides 1, 2 to be connected are waveguide on a quartz substrate, this work can be executed easily by using a usual tremor base whose positioning accuracy is about  $1\mu\text{m}$ . Subsequently, the connecting end faces of these waveguides 1, 2 are separated by a small distance (l), and this gap (l) is packed with a phase variation type photosensitive medium 3. Light for exposing the photosensitive medium is made incident from the non-connecting end face of the two waveguides 1, 2, and subsequently, a fixation of the photosensitive medium 3 is executed as the final step.



## ⑫ 公開特許公報(A)

昭60-173508

⑥ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 昭和60年(1985)9月6日

G 02 B 6/26

7529-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 光導波路接続方法

⑰ 特 願 昭59-11815

⑱ 出 願 昭59(1984)1月27日

⑲ 発 明 者 立 田 光 廣 武蔵野市緑町3丁目9番11号 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光導波路接続方法

## 2. 特許請求の範囲

1) 相対向させた2つの導波路間に位相変化形感光性媒質を配置し、前記2つの導波路の双方から前記感光性媒質に向けて光を通すことにより、前記感光性媒質を局所的に変性させて結合用導波路を形成することを特徴とする光導波路接続方法。

2) 前記感光性媒質として光重合性プラスチックを用いることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の光導波路接続方法。

3) 前記感光性媒質を局所的に変性させて前記結合用導波路を形成するに際して、前記光として紫外光を用いることを特徴とする特許請求の範囲第1項または第2項に記載の光導波路接続方法。

## 3. 発明の詳しい説明

(技術分野)

本発明は、高精度な光軸合せを必要としないで光導波路を低損失状態で接続する光導波路接続方法に関するものである。

(従来技術)

現在、多種多様な光素子が開発されてきており、それに伴って多くの光システムが構成されている。光システムの小型化および経済化を目指して、光素子は大形のバルク素子からマイクロ 옵ティクス、更には導波路形へと改良されつつある。それに伴って、光素子相互の接続の重要性が増している。

しかしながら、トランジスタやコンデンサの如き慣例の電気素子にあつては、単に接触するのみで接続が可能であるのと異なり、光ファイバや光変調器の如き光素子を接続するためには、光軸合せを行うというプロセスが必要である。

かかる光軸合せを行って低損失な接続を行うためには、精密な機械的精度を必要とする。例えば、長距離大容量伝送を可能とする単一モード光ファイバの接続のためには、0.1 μm 以下の精度で光

軸合せを可能とする精密微動装置、光軸の合致を検出するためのモニタ用光源と受光器、および接続点において受光パワーを知るためのデータ伝送回線等を必要としている。このためこれらの装置を含めた接続のコストは非常に高価なものとなっている。

一方、短距離中小容量伝送用の多モード光ファイバの接続に際しては、導波路のコア部の面積が単一モード光ファイバに比べて大きいので、光軸合せの要求条件は数 $\mu\text{m}$ 程度となり、単一モード光ファイバの場合に比べて約1桁緩和される。これを利用して、多モードファイバの接続にはV溝を用いた概略軸合せ方法が用いられている。この方法によれば、単一モード光ファイバの接続の際に不可欠であつた精密微動装置、光源、受光器、データ伝送回線等が不要となるから、接続作業ははるかに簡易となり、コストも少なくてすむ。

このように低コストで簡便な接続方法を用いて、しかも広帯域伝送を可能とする単一モード導波路を低損失で接続する方法が強く要望されているが、

( 3 )

## 〔実施例〕

以下に図面を参照して本発明を詳細に説明する。

第1図は本発明の一実施例を示し、ここで、1および2は互いに接続すべき2つの導波路であつて、1-1および2-1はそれぞれのコア（導光部）、1-2および1-2'と2-2および2-2'はクラッド部を示す。3はこれら2つの導波路1および2の間に配置され、両者のコア1-1と2-1とをつなぐための感光性媒質であつて、3-1は以下に述べるプロセスを経て結合導波路のコアとなり、光導波路1および2の各コア1-1および2-1と結合される部分である。

本発明による接続は以下の手順で行なう。はじめに、互いに接続すべき導波路1および2を、そのコア部1-1と2-1の中心軸（これを光軸と呼ぶ）が軸ずれ量数 $\mu\text{m}$ 程度で概略一致するように対向させる。接続すべき2つの導波路が共に光ファイバの場合には、従来多モードファイバの接続の際に用いられている強化プラスチック製のV溝接続器を用いることができる。接続すべき2つ

( 5 )

これまでのところは実現されていない。

## 〔目的〕

そこで、本発明の目的は、上述した問題点の解決を図つて、上記の要望を満たす光導波路接続方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、互いに接続すべき導波路間に感光性媒質を挟み、この中に結合用導波路を形成することにより、自動的に軸ずれ損失の大幅低減をはかるようにした導波路接続方法を提供することにある。

## 〔発明の構成〕

かかる目的を達成するために、本発明では、相対向させた2つの導波路間に位相変化形感光性媒質を配置し、前記2つの導波路の双方から前記感光性媒質に向けて光を通すことにより、前記感光性媒質を局所的に変性させて結合用導波路を形成することを特徴とする。

ここで、感光性媒質としては、光重合性プラスチックを用いるのが好適である。また、感光性媒質に向けて通す光としては、紫外光が好適である。

( 4 )

の導波路1および2のうちの一方または双方が石英基板上の導波路の場合には、位置決め精度 $1\mu\text{m}$ 程度の通常の微動台を用いてこの作業を簡単に実行できる。

次に、第2のステップでは、これらの導波路1および2の接続端面をわずかな距離 $\delta$ だけ離間させる。この距離 $\delta$ は正確に決められた値である必要はないが、後に示すように、 $0.1\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

第3ステップでは、この間隙 $\delta$ を位相変化形感光性媒質3で充填する。この感光性媒質が液状の場合には第1図に示すような配置となるが、固体の場合にはあらかじめ厚さを調整した板状の感光性媒質の両側から接続すべき導波路を突き合わせる。

第4ステップでは、2つの導波路1および2の図示していない非接続端面から感光性媒質を露光するための光を入射させる。導波路1および2内では、光は主にコア部1-1および2-1に閉じ込められているから、感光性媒質3に出射した光

( 6 )

は、回折により少し拡がりながらも、感光性媒質 3 中の概略コア部 1-1 および 2-1 と同程度の領域を主に感光させ、第 1 図で斜線を付した部分 3-1 の屈折率（位相特性）を増加させ、ここに結合用導波路を形成する。

次いで、最終ステップとして、感光性媒質 3 の定着を行なう。これは未反応の感光性媒質 3 がこれ以上変化しないようにし、すでに形成された結合用導波路 3-1 を恒久的に固定するためのステップであり、具体的には、用いられる感光性媒質 3 の種類に応じて、加熱、一様露光、水洗、薬品処理等のいずれかが行なわれる。

一般に、光は屈折率の高い方に集まる性質があるから、感光性媒質 3 の占めている空間が空気層やマツチングオイル等の一様媒質で満たされている場合に比べ、部分 3-1 が導波路コアを形成している分だけ結合効率は向上する。

しかも、この結合導波路 3-1 の光軸というべき重心線は 2 つの導波路 1 および 2 のコア部を連続的につないでいるため、これらにたとえ軸ずれ

(7)

これらの物質は、通常、露光により不溶性固体となることを利用して製版技術や LSI 加工のためのエッチングパタンの作製に用いられったり、あるいはプラスチックの接着剤として用いられったりする。重クロム酸ゼラチン膜もフォトポリマと同様に露光により高分子化することが知られている。

これらの媒質の露光により重合した部分は未露光の部分に比べて屈折率が増加することを利用して、光導波路をレーザビームで書き込むことができるが、例えば、Appl. Phys. Lett. Vol. 24, No. 2, 1974, pp 72-74 等に報告されている。

本発明においては、このような性質を光導波路の接続のために用いる。

一般に、フォトポリマの重合時の屈折率変化量は 0.003 ~ 0.03 の程度であり、単一モード導波路を形成するための条件（屈折率変化量 0.004 程度）は十分に満足する。フォトポリマの露光感度は照射する光の波長  $\lambda$  により異なり、一般に  $\lambda = 300 \sim 400$  nm の紫外域で感度が高く、 $\lambda \geq$

(9)

があつても、軸ずれ損失を大幅に低減できることを期待できる。実際には導波路 1 と 2 の軸ずれ量と感光性媒質 3 の吸収損失、および端面間隔  $l$  により、残留軸ずれ損失と曲り損失が生じるが、これらの値は一般に直接軸ずれ接続損失の  $1/2$  以下となる。

上述してきた結合用導波路 3-1 の形成過程とその効果について以下に詳細に述べる。

光を照射すると屈折率が増加する、いわゆる位相形感光材料としては、フォトポリマと総称されるものが知られている。これはアクリル、メタクリル等のプラスチックのモノマ（単量体）が光エネルギーにより重合を開始して高分子化し、その性質を変えることを利用するものであり、デュボン社のフォトポリマ、コダック社の KPR（商標名）フォトレジスト、オブチコン・ケミカル社の U.V. 57（商標名）等の名称で商品化されているものの他、PMMA（ポリメチルメタクリレート）をメチルメタクリレート単量体に溶解したものなどが知られている。

(8)

600 nm の赤色～赤外域では感度をもたない。このため、可視域で使用するためには増感色素が加えられるが、本発明においては、以下に述べる理由により、紫外光露光を行なうのが適している。

その第 1 の理由は、通常、光導波路は可視光あるいは赤外光で動作させるので、感光材料の定着不足などがあつても、使用波長域で感度をもたなければ特性の劣化を防止できる。第 2 の理由は、回折による光の拡がりの影響が紫外光の場合には無視できる程度に小さいからである。すなわち、波長  $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$  において規格化周波数  $V$  が 2.2 となる標準単一モード光ファイバでは、 $V$  は  $\lambda$  に反比例するため、 $\lambda = 0.35 \mu\text{m}$  の紫外光に対しては  $V = 8.2$  の多モードとなる。そのため、紫外光に対しては、導波路内の光強度分布はコア内でほぼ一様となる。

この様子を第 2 図に示す。第 2 図は、全モード均一励振時における半径  $a$  の光ファイバ断面内の光強度分布を規格化周波数  $V$  をパラメータにとつて描いたものである。ここで、 $V$  が十分大きい場

(10)

合には光強度分布はほぼステップ状になることがわかる。一般に、光の波長程度の大きさを持つ構造（今の場合は光ファイバのコア）から発生する光の進路、強度分布は回折現象により複雑になるが、上記の場合には、導波路のコア形状と同一の円板から発生した光を追跡すればよい。この結果は、波長（ $\lambda = 350 \text{ nm}$ ）に比べて十分離れた場所（ $\ell \sim 0.1 \text{ mm} \gg \lambda$ ）においてはフラウンホフア一回折場として知られており、相対回折強度  $I$  は、

$$I = \{ J_1(\eta) / \eta \}^2$$

$$\eta = 2\pi a \rho / \lambda Z$$

で与えられる。半径方向の位置  $\rho$  に対する相対回折強度  $I$  は、第3図に示すようなパターンとなる。このパターンの半径方向の拡がり幅  $\rho_0$  は、

$$\rho_0 = 0.61 \lambda \ell / a \quad (1)$$

で表わされる。ここで、 $a = 5 \mu\text{m}$ 、 $\ell = 0.1 \text{ mm}$  のときには、 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$  の赤外光に対しては、 $\rho_0 = 1.6 \mu\text{m}$  となり、もとの導波路のコアの3倍

(11)

$$\begin{cases} I_1 = I_0 \exp(-\alpha Z) \\ I_2 = I_0 \exp\{-\alpha(\ell - Z)\} \end{cases} \quad (2)$$

(3)

で表わされる。従つて、面4における全露光量  $I = I_1 + I_2$  は(2)式と(3)式との和として、第6図に示すような階段状の分布となる。今、この分布の重心位置を求め、第1の導波路1の中心からのずれを  $X$  とすると、簡単な計算より、

$$X = 4X / \{1 + \exp\{\alpha(\ell - 2Z)\}\} \quad (4)$$

が得られる。

第7図は、このような導波路の重心位置の変化を描いたものであり、図中の5-1および5-2は第1および第2の導波路1および2の重心線、5-3は感光性媒質3内に形成されたコア部3-1の重心線を示す。第7図から明らかなように、接続損失は第1および第2の導波路1および2と結合用導波路3-1との境界における残留軸ずれ  $X_0$  による損失、結合用導波路の重心線の曲りによる曲り損失の和で評価できる。かかる残留軸ずれ  $X_0$  は、(4)式において  $Z = 0$  とおくことによつて、

(13)

以上に拡がってしまうが、 $\lambda = 0.35 \mu\text{m}$  の紫外光に対しては、 $\rho_0 = 4.3 \mu\text{m}$  となり、ほとんど拡がりが生じない。その結果、2つの接続すべき導波路のコア1-1および2-1とほぼ同じ形状の導波路が感光性媒質3の中に形成されることになる。

次に、このようにして形成された結合用導波路の結合効率について述べる。

第4図は感光性媒質中の光強度分布を計算するための図であつて、ここで、2つの導波路の光軸1-1および1-2の軸ずれ量を  $4X$ 、各導波路のコア幅を  $2a$  とし、第1の導波路1の端面から第2の導波路2の方向に  $Z$  だけ離れた面4における光強度を調べる。感光性媒質の光吸収係数を  $\alpha$  とすると、第1および第2の導波路1および2からそれぞれ出射した光は、面4に到るまでの減衰量が互いに異なるため、それぞれ、第5図に実線および破線で示したような分布をとる。ここで、第1および第2導波路1および2からの各出射光の強度  $I_1$  および  $I_2$  は、導波路中の光強度を  $I_0$  とするとき、

(12)

$$X_0 = 4X / (1 + \exp(\alpha \ell)) \quad (5)$$

となることがわかる。この値は  $\frac{1}{2} 4X$  を越えることがない。一般に、軸ずれ損失は軸ずれ量の二乗に比例して増加することが知られており、 $2a = 10 \mu\text{m}$  の標準光ファイバを  $4X = 2.5 \mu\text{m}$  の軸ずれで接続した場合の損失の典型値は1 dBであるが、結合用導波路を形成することにより軸ずれ損失は1端面あたり  $1/4$  以下、全体としては、2つの端面の合計で、 $1/2$  以下、すなわち、0.5 dB 以下となる。

曲り損失は重心線の形状を調べることにより評価できる。(4)式を  $Z$  に関して微分することにより、感光性媒質が第1および第2の導波路1および2の端面と接する位置（ $Z = 0$ 、 $\ell$ ）において最小の曲率半径をもち、その値  $\rho_0$  は、

$$\rho_0 = \frac{\{(1+\beta)^2 + (2\alpha 4X)^2 \beta^2 / (1+\beta)^2\}^{3/2}}{4\alpha^2 4X \beta (1-\beta)} \quad (6)$$

$$\beta = \exp(-\alpha \ell) \quad (7)$$

(14)

で表わされることがわかる。

$\alpha$  が  $1\text{ cm}^{-1}$  程度と小さい場合には、 $l = 0.1\text{ mm}$  および  $\Delta X = 2.5\text{ }\mu\text{m}$  に対して、 $\rho_0 = 8000\text{ m}$  となる。すなわち、曲り損失、曲率不連続損失等、導波路形状に由来する損失増は全く無視できる程度に小さい。

逆に、 $\alpha$  が  $100\text{ cm}^{-1}$  程度に大きい場合には、同じ条件 ( $l = 0.1\text{ mm}$ ,  $\Delta X = 2.5\text{ }\mu\text{m}$ ) に対して、 $\rho_0 = 11\text{ mm}$  程度になる。この場合、連続的曲り損失は無視できるが、両端面における曲率不連続による損失は  $0.02\text{ dB}$  程度となる。このとき、残留軸ずれ量  $\Delta X$  は  $0.67\text{ }\mu\text{m}$  程度となり、これに対応する接続損失は  $0.07\text{ dB}$  程度である。従つて、 $\alpha = 100\text{ cm}^{-1}$  の場合の全結合損失 (2 個所の軸ずれ損失と曲り損失の和) は  $0.16\text{ dB}$  程度となり、結合用導波路を用いない直接軸ずれ接続の場合 (約  $1\text{ dB}$  の損失) に比べて大幅に損失を低減できる。

大部分の感光性プラスチックモノマは紫外域で大きい光吸収があるため、ここに述べたような大幅な接続損失の低減効果を期待できる。しかも、

(15)

おけるわずかな残留軸ずれとに変換されるため、全体として接続損失は大幅に低減される。

従つて、本発明を用いることにより、光素子相互間の低損失接続が容易であり、しかも安価に行なえるので、あたかも電気素子をハンダ付けして電気回路を組み立てるような感覚で光素子を結合して光システムを迅速に効率よく構成することが可能となる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例を示す断面図、

第2図は光ファイバ内の光強度分布の規格化周波数依存性を示す特性曲線図、

第3図は円形開口のフラウンホーファー回折パターンを示す特性曲線図、

第4図は感光性媒質中の光強度分布計算のための説明図、

第5図は一方の導波路端面より  $z$  だけ離れた面における第1および第2の導波路からの入射光の強度分布を示す分布図、

第6図は上記の面における全露光量分布を示す

(17)

プラスチックの屈折率は、通信用光ファイバの主要成分である石英と非常に近い値をもっており、境界面におけるフレネル反射損失は  $\lambda = 1.3\text{ }\mu\text{m}$  において1端面当り  $6 \times 10^{-4}\text{ dB}$  の程度であり、無視できる。

感光材料自身の吸収損失は、紫外域では大きくても、実際に使用する赤外域では、非常に透明である。例えば、PMMA は可視および赤外域ではガラスよりも透明である。従つて、厚さ  $0.1\text{ mm}$  程度による吸収損失は上記の反射損失よりも更に小さい。

(効果)

以上説明したように、本発明によれば、接続すべき2つの導波路を位相変化形感光性媒質を挟んで対向させ、両導波路のコアより、この中に光を通ずることにより、これら双方の導波路を光結合できる導波路を感光媒質の中に形成することができる。ここで、接続すべき2つの導波路に軸ずれがあつても、その影響は感光性媒質内に形成された結合用導波路のゆるやかな曲りと、その両端に

(16)

分布図、

第7図は感光性媒質内に形成された結合用導波路のコア重心線の説明図である。

1…第1の導波路、

1-1…第1の導波路のコア部、

1-2, 1-2'…第1の導波路のクラッド部、

2…第2の導波路、

2-1…第2の導波路のコア部、

2-2, 2-2'…第2の導波路のクラッド部、

3…位相変化形感光性媒質、

3-1…結合用導波路のコア部、

4…第1の導波路の端面から  $z$  だけ離れた面、

5-1…第1の導波路のコア重心線、

5-2…第2の導波路のコア重心線、

5-3…結合用導波路のコア重心線。

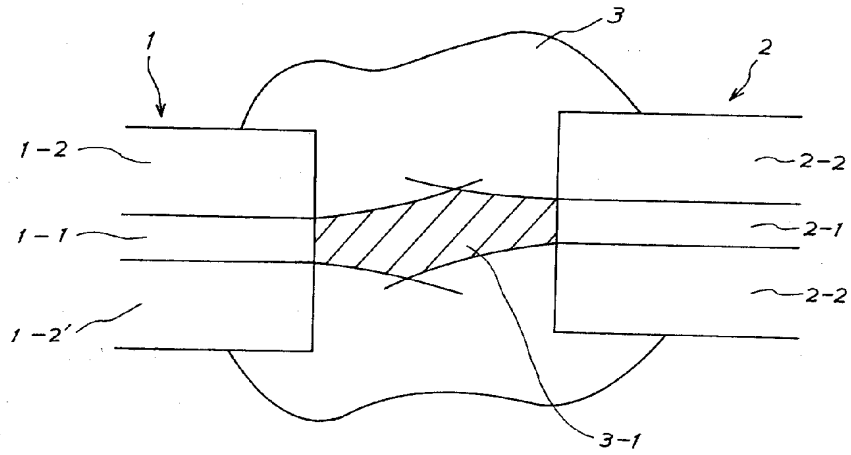
特許出願人 日本電信電話公社

代理人 弁理士 谷 義 一

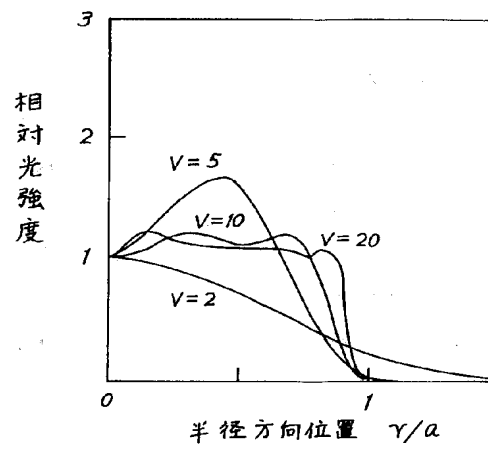


(18)

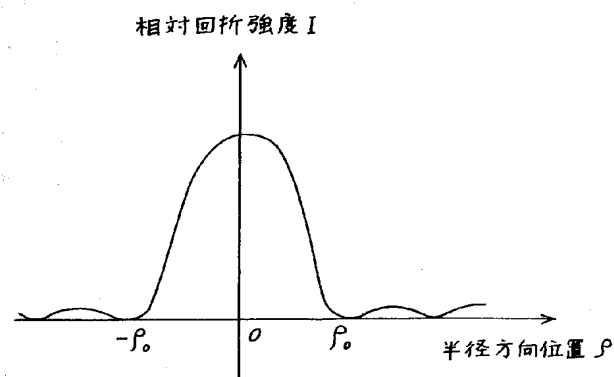
第 1 図



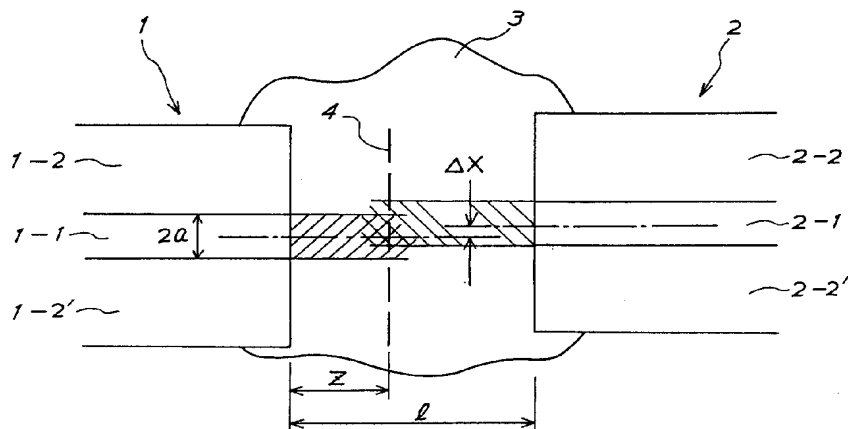
第 2 図



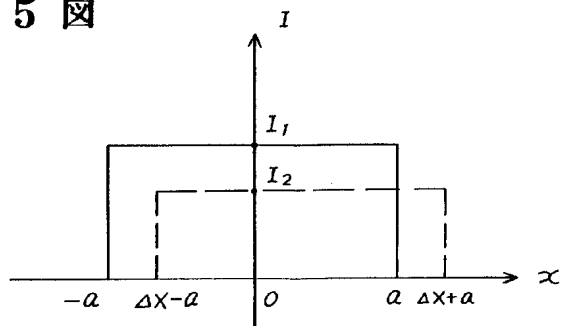
第 3 図



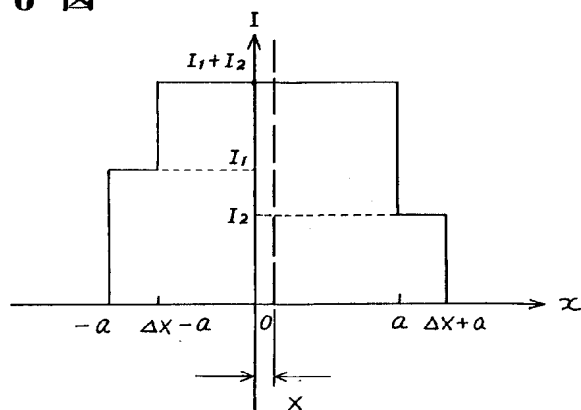
第 4 図



第 5 図



第 6 図



第 7 図

